

Література

1. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнение математической физики. – М.: Наука, 1966.
2. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий: Программированное введение в планирование эксперимента /

кими показниками є статистичні значення максимального та мінімального газоспоживання, їх Ю.П.Адлер, Е.Б.Леаркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 263 с.

3. Тымкив Д.Ф., Грудз В.Я., Манько Б.З. Оптимизация процесса очистки полости магистрального газопровода // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений: Респ. межвед. науч. сб. – 1986. – Вып. 23.

УДК 519:24

МЕТОДОЛОГІЯ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ
ГАЗОСПОЖИВАННЯ

О.В.Мацюк, М.В.Приймак, А.В.Толбатов

Тернопільський державний технічний університет, м. Тернопіль, вул. Руська, 56,
тел. (0352) 253413, e-mail: Kaf_KN@tu.edu.te.ua

Работа посвящена вопросам методологии статистической обработки данных газопотребления. Рассматриваются основные модели газопотребления, учитывающие их стохастическую периодичность на уровне описания и дают возможность разрабатывать статистические методы более всестороннего и объективного их исследования. Предложены методы формирования статистических данных газопотребления.

Work is devoted to the questions of methodology of the statistical data processing of gas consuming. The basic models of gas consuming of that take into account are examined their stochastic periodicity at descriptive level and enabled to develop the statistical methods of their research more comprehensive and objective. The methods of forming of statistical data of gas consuming are offered.

Науково-технічна проблема підвищення ефективності та оптимізації управління в газопромиловому комплексі, пов'язана з обліком та контролем за використанням газу. В основному вирішення цієї проблеми здійснюється за двома напрямками. Перший напрямок – це розробка і впровадження різноманітних лічильників газу з підвищеними метрологічними характеристиками та різними функціональними можливостями. Другий напрямок – удосконалення методів статистичного аналізу графіків газоспоживання, в першу чергу, оцінка їх зв'язку з впливовими на газоспоживання чинниками, зокрема метеочинниками. Якщо питання лічильників має в основному технічне спрямування, то для вдосконалення методів статистичної обробки, підвищення їх точності, достовірності, зручності в користуванні широко впроваджуються сучасні інформаційні технології із залученням засобів комп'ютерної техніки. Основну увагу в даній роботі зосередимо на методах статистичного аналізу газонавантажень, що дають можливість врахувати їх стохастичну періодичність.

Відомо [1,2], що на сьогоднішній день для оцінки газоспоживання в основному використовуються інтегральні показники, які висвітлюють газоспоживання за певні проміжки часу – день, тиждень, сезон, рік тощо. Однак зрозуміло, що для підвищення ефективності функціонування газотранспортної галузі, її надійності необхідна більш різностороння інформація, а саме динамічні показники газоспоживання. Та-

к змінні протягом певних проміжків часу і нерегулярність у ті чи інші фіксовані моменти часу.

Зупинимось більш детально на суті даної роботи, а саме на основних положеннях методології статистичної обробки даних газоспоживання.

Газоспоживання за своєю природою є ритмічним і стохастичним процесом і це зумовлено наступним.

Обертання Землі навколо своєї осі з 24-им часовим циклом породжує цілу низку ритмічних процесів земної цивілізації, до якої належить і процес газоспоживання.

Стохастичність або випадковість формування газоспоживання пов'язана з дією значної кількості чинників, у тому числі зміни метеорологічних та кліматичних умов, включення та виключення газоспоживачів у різні моменти часу, з різними тривалостями по часу, інтенсивністю споживання та їх кількістю.

Таким чином дві основні властивості формування процесу газоспоживання й зумовлюють його математичну модель – ритмічний з періодом $T_0 = 24$ години випадковий процес.

На сьогодні можна констатувати, що теорія періодичних випадкових процесів [3, 4] інтенсивно розвивається і це пов'язано з вирішенням широкого кола науково-технічних проблем, досліджень ритмічних явищ та процесів. В останній час значно зросла кількість наукових публікацій по цій проблематиці, до яких можна як приклад навести такі роботи.

Особливо плідно розвивається теорія лінійних періодичних випадкових процесів та полів,

що відноситься до конструктивної теорії визначення випадкових функцій. Результати досліджень лінійних періодичних випадкових функцій дають повний ймовірнісний опис у термінах послідовності скінченновимірних характеристичних функцій цієї моделі, мають чітку фізичну інтерпретацію в описі різних ритмічних явищ, плідно використовуються як алгоритмічно-програмне забезпечення процесів моделювання на ЕОМ [5, 6].

Зупинимось на основних результатах даної роботи.

Моделі процесу газоспоживання. Для опису такого процесу можна запропонувати такі моделі.

1. Адитивна модель

$$\zeta(\omega, t) = f(t) + \xi(\omega, t), \quad \omega \in \Omega, \quad t \in T, \quad (1)$$

де $f(t)$ – детермінована періодична невід’ємна функція, яка іменується в деяких випадках як періодичний тренд, а $\xi(\omega, t)$ – стаціонарний випадковий процес.

Загалом $\zeta(\omega, t)$ – періодичний випадковий процес – параметрична послідовність випадкових величин, яка задана на фіксованому ймовірнісному просторі (Ω, F, P) , де Ω – простір елементарних подій, F – алгебра (σ – алгебра) підмножин Ω , а P – ймовірність.

2. Мультиплікативна модель

$$\zeta(\omega, t) = f(t) \cdot \xi(\omega, t), \quad \omega \in \Omega, \quad t \in T, \quad (2)$$

де компоненти: функція $f(t)$ і стаціонарний випадковий процес $\xi(\omega, t)$ мають аналогічну інтерпретацію як і в (1).

3. Випадковий процес $\zeta(\omega, t)$, двовимірна функція розподілу якого задовольняє умову

$$F(x_1, x_2; t_1, t_2) = F(x_1, x_2; t_1 + T_0, t_2 + T_0), \quad (3)$$

іменується періодичним у широкому сенсі випадковим процесом.

Такий процес здебільшого відомий як періодично корельований випадковий процес (ПКВП), а періодичність його кореляційної функції та інших характеристик у рамках енергетичної теорії впливає з (3).

4. Випадковий процес $\zeta(\omega, t)$ іменується періодичним за Слуцьким, якщо вся послідовність скінченновимірних функцій розподілу задовольняє умову

$$\begin{aligned} F(x_1, \dots, x_n; t_1, \dots, t_n) = \\ = F(x_1, \dots, x_n; t_1 + T_0, \dots, t_n + T_0). \end{aligned} \quad (4)$$

3 умови (4) впливає виконання умови (3), тобто ПКВП є частинним випадком періодичних процесів за Слуцьким. Зворотний випадок у загальній постановці не має місця.

5. Лінійний періодичний випадковий процес описується стохастичним інтегралом вигляду

$$\zeta(\omega, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\tau, t) d\tau \eta(\omega, \tau), \quad t \in T, \quad (5)$$

де детермінована функція двох аргументів $\varphi(\tau, t) \in L_2(-\infty, \infty)$ за $\forall t \in T$, $\eta(\omega, \tau)$ – випадковий процес з незалежними приростами і безмежно подільними законами розподілу. Таке уявлення випадкового процесу допускає кілька варіантів побудови періодичної структури. Більш детально ці питання розглянуті у роботі [6].

Природно, що рішення про вибір кожної моделі і обґрунтування її використання для досліджень процесу газоспоживання кожний дослідник приймає базуючись на постановці задачі, апріорної інформації про об’єкт досліджень, початкових і граничних умов та інше.

Слід тільки вказати, що наведені математичні моделі процесу газоспоживання розташовані у порядку збільшення їх умовної складності. Але потрібно також відмітити, що кожна модель має певну “потужність” глибини дослідження реального процесу газоспоживання. У цьому плані перша модель має найменшу “потужність”, а лінійний періодичний випадковий процес характеризується найбільшим її значенням.

Усі наведені моделі є нестаціонарними, тому питання збору статистичних даних газоспоживання є актуальними і для їх вирішення необхідно розробити єдину методологію.

Формування статистичних даних газоспоживання. Ряд методів статистичної обробки спостережень нестаціонарних випадкових процесів, а до них належать усі математичні моделі процесу газоспоживання (1)...(5), базуються на статистичному аналізі ансамблю реалізацій досліджуваного процесу.

Періодична структура нестаціонарних моделей процесу газоспоживання дає змогу розробити методологію формування таких ансамблів реалізацій.

Позначимо через $g(t)$ неперервну реалізацію нестаціонарного періодичного випадкового процесу газоспоживання $\zeta(\omega, t)$, яка описує об’єм газоспоживання на інтервалі часу $t \in [0, T_0)$, де T_0 – 24 години. Послідовність n таких реалізацій описується n -вимірним вектором

$$Q_n(t) = (g_1(t), g_2(t), \dots, g_n(t)). \quad (6)$$

Вектор $Q_n(t)$ є детермінованим вектором, компоненти якого не співпадають між собою.

На практиці результати спостереження газоспоживання у більшості випадків проводяться дискретно за часом або отримуються за допомогою використання аналогово-цифрових перетворювачів (АЦП) відповідних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС). У цьому випадку маємо числову послідовність значень процесу газоспоживання.

Відомо, що для формування числових послідовностей використовуються два методи:

а) дискретизація області визначення процесу газоспоживання з рівномірним кроком, тобто будується рівномірна ґратка за часом $\{j\Delta t, j = 0, m, m \in N\}$ на інтервалі $t \in [0, T_0)$, але прирости значень процесу газоспоживання при цьому будуть довільними;

б) дискретизація області значень процесу газоспоживання з рівномірним кроком, але прирости значень аргументу – часу будуть при цьому довільними і задовольняють умові $0 < t_1 < t_2 < \dots < T_0$.

Як правило, на практиці використовується перший метод – метод дискретизації за часом з рівномірним кроком Δt . Далі будемо розглядати числові послідовності процесу газоспоживання з рівномірним кроком дискретизації за часом. У цьому випадку ансамбль реалізацій процесу газоспоживання описується матрицею Q_{nm} , де відповідно маємо n рядків за числом реалізацій, і m стовпців за числом дискретних відліків реалізацій за часом, тобто

$$Q_{nm} = \begin{bmatrix} g_1(t_1) & \dots & g_1(t_m) \\ \vdots & & \vdots \\ g_j(t_1) & \dots & g_j(t_m) \\ \vdots & & \vdots \\ g_n(t_1) & & g_n(t_m) \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Коротко зупинимось на методології формування ансамблю реалізацій процесу газоспоживання, як для неперервного (6), так і для дискретного (7) часу.

Базуючись на одному з основних положень теорії вимірювань, а саме дані вимірювань повинні бути одержані за однакових умов, сформулюємо наступне.

Для формування ансамблю реалізацій процесу газоспоживання необхідно виконання умов:

1) однорідність кліматичних, метеорологічних, сезонних та інших умов;

2) чітка синхронізація за часом під час реєстрації реалізацій нестационарного періодичного (з тривалістю періоду $T_0 = 24$ години) випадкового процесу;

3) використання ІВС, приладів вимірювання значень процесу газоспоживання з однаковими метрологічними характеристиками у межах відповідного регіону України (місто, область, регіон областей);

4) функціонування відповідних синхронізованих інформаційних мереж передачі, приймання та реєстрації даних вимірювань процесу газоспоживання під час формування бази даних;

5) наявності відповідного колективу досвідчених дослідників статистичної обробки даних вимірювань, їх аналізу і інтерпретації результатів обробки.

Виконання наведених вище умов формування ансамблю реалізацій процесу споживан-

ня, незважаючи на деяку умовність і певну декларативність, забезпечує їх успіх.

Статистичні оцінки характеристик процесу газоспоживання. Наведені далі алгоритми статистичної обробки ансамблю реалізацій процесу газоспоживання (7) використовуються при умові виконання наступних статистичних гіпотез:

1) процес газоспоживання описується не-стаціонарним періодичним (з періодом $T_0 = 24$ години) випадковим процесом $\zeta(\omega, t)$;

2) вкладені у процес $\zeta(\omega, t)$ випадкові послідовності $\{v(t_j + kT_0), t_j \in [0, T_0), k \in Z\}$ стаціонарні і задовольняють умовам ергодичної теореми відносно математичного сподівання і кореляційної функції.

Статистична оцінка математичного сподівання процесу $\zeta(\omega, t)$ при заданій (7) визначається за формулою

$$\bar{a}(t_j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n g_k(t_j), \quad j = \overline{1, m}. \quad (8)$$

Приклади статистичної обробки. Для проведення досліджень були використанні реальні дані споживання газу з кроком дискретизації $\Delta t = 1$ година. На рисунку 1 наведена оцінка математичного сподівання споживання газу на протязі 72 годин, з періодом $T = 24$ години. Отриманні результати є підтвердженням, що моделлю газоспоживання є періодичний випадковий процес.

На рисунку 2 наведено оцінку математичного сподівання газоспоживання за січень і червень 2001 року. Споживання газу в січні значно перевищує аналогічні показники червня, це пояснюється тим, що в червні газ використовується тільки для побутових потреб.

Аналіз графіків (рис.2) показує, що оцінки математичного сподівання газоспоживання в робочі дні січня різних років (2000 і 2001 роки) подібні за формою. Максимальні значення газоспоживання спостерігаються з 7-ї до 10 години ранку і з 19-ї до 22 години вечора. Найменше газоспоживання спостерігається з 12-ї до 17 години і з 23-ї до 6 години.

Оцінка середньоквадратичного відхилення (рис.3) характеризує нерівномірність газоспоживання.

Отриманні в роботі результати є важливою інформацією для диспетчерських та інших відповідних служб газотранспортної системи.

Висновки. Методологія статистичних даних базується на наступних основних положеннях:

– процес газоспоживання описується не-стаціонарним періодичним випадковим процесом, який в залежності від області використання і глибини досліджень може описуватися моделями виду (1) – (5);

– статистична обробка реалізацій такого процесу, в більшості випадків проводиться шляхом обробки дискретної по часу послідовності, з використанням ергодичних гіпотез на рівномірній сітці часу з кроком $\Delta t = 24$ години.

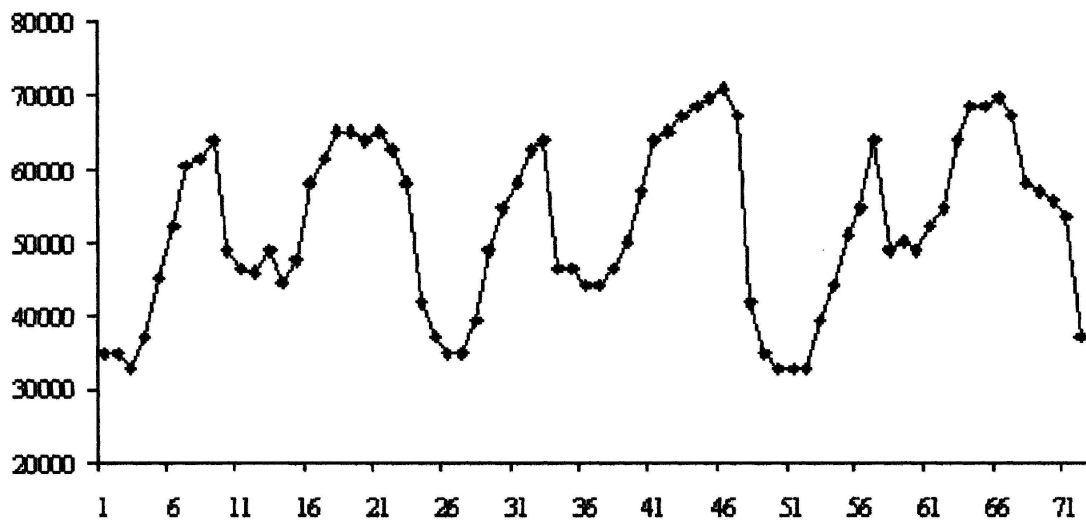


Рисунок 1 — Оцінка математичного сподівання газоспоживання впродовж трьох періодів для Тернопільгаз за січень 2001 року

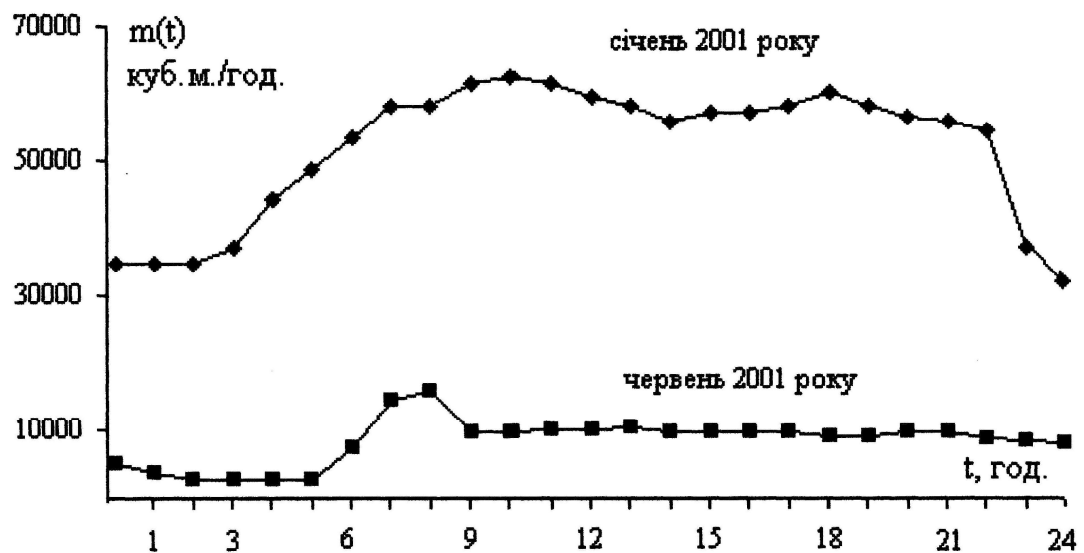


Рисунок 2 — Оцінка математичного сподівання газоспоживання (січень і червень 2001 року)

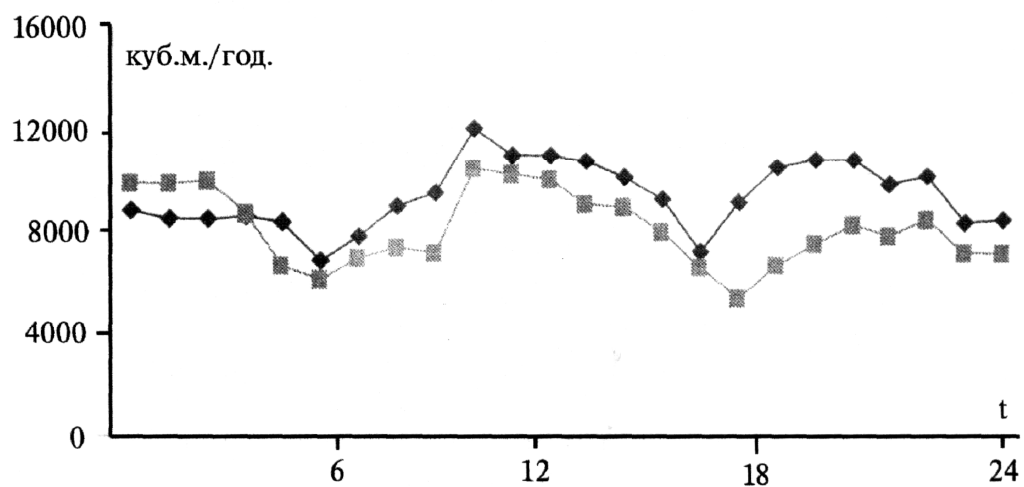


Рисунок 3 — Оцінка середньоквадратичного відхилення (січень і червень 2001 року)

Література

1. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття / Шидловський А.А., Ковалко М.П., Вишневський І.М. та ін. / Під ред. Шидловського А.А., Ковалко М.П. – К.: УЕЗ, 2001. – 400 с.
2. Шишко Г.Г., Енин П.М. Учет расхода газа. – К.: Урожай, 1993. – 310 с.
3. Марченко Б.Г., Приймак М.В. Побудова моделі та аналіз стохастично періодичних навантажень енергосистем // Праці Ін-ту електродинаміки. – К.: ІЕД НАН України, 1999. – Вип.1. – С.129-153.
4. Марченко Б.Г. Метод стохастических интегральных представлений и его приложения в радиотехнике. – К.: Наук. думка, 1973. – 191 с.
5. Мацюк О.В., Приймак М.В. Моделі газонавантажень з врахуванням стохастичної періодичності та можливості їх статистичного аналізу // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2003. – №2 (7). – С.64-69.
6. Мацюк О.В., Приймак М.В. Вкладені стаціонарні послідовності періодичних випадкових процесів та їх використання в задачах обробки газонавантажень // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2003. – №4 (9). – С.94-99.

УДК 681.518:622.323

ВИБІР ДІАГНОСТИЧНОЇ ОЗНАКИ СТАНУ ЗАГЛИБНИХ ЕЛЕКТРОВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ ВИДОБУТКУ НАФТИ

Л.М.Заміховський, С.В.Зікратий

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48000,
e-mail: ktsu@nung.edu.ua

В статті обоснован вибір діагностичного признака для оценки технического состояния установок ЭЦН и установлен диапазон ее изменения. За результатами теоретических и экспериментальных исследований установлено, что наиболее точно описывает состояние центробежного насоса распределение мощностей гармонических составляющих в спектре крутящего момента на вале погружного электродвигателя. Причем наиболее информативными являются пять первых гармоник.

In the article the choice of the diagnostic criterion for estimation of the technical state of electrical submersible pump unit is grounded and its range of change is established. Basing on results of theoretical and experimental researches there was established that distribution of harmonic components in the spectrum of ESP motor shaft torque describes most precisely the state of ESP. The most informative are the five first harmonics.

У процесі експлуатації нафтових родовищ механізованим способом основний об'єм рідини, що видобувається, припадає на занурювальні електроустановки для видобутку нафти – установки електровідцентрових насосів (УЕВН). Збільшення видобутку та скорочення витрат на ремонт і обслуговування обладнання неможливе без впровадження сучасних технічних засобів (систем) діагностування стану нафтовидобувного обладнання і зумовлене відсутністю об'єктивної інформації про стан установки ЕВН у процесі експлуатації. Останнє призводить до того, що сьогодні установки ЕВН експлуатують до повної відмови (поки не спрацює автоматика на станції управління), внаслідок чого установка стає повністю непридатною до подальшої роботи і вимагає вартісного ремонту.

Однією з найважливіших задач у процесі розробки будь-якої системи діагностування є вибір діагностичної ознаки (ДО) (параметра чи характеристики, зміна яких найбільш точно відображає зміни стану установки). Оскільки від правильного її вибору залежить ефективність та складність майбутньої системи діагностування,

адекватно відображати зміни в об'єкті діагностування та бути зручною у застосуванні.

Для оцінки стану відцентрових насосів (ВН) однією із таких ознак може бути величина крутного моменту на валі приводного занурювального електродвигуна (ЗЕД) [1]. У той самий час специфіка умов експлуатації та відсутність безпосереднього доступу до об'єкта діагностування не дають можливості використати прямі методи для оцінки величини крутного моменту на валі ЗЕД і зумовлюють використання непрямих (побічних) методів. Зокрема, момент на валі M_v можна визначити через потужність на валі ЗЕД P_v , оскільки між ними існує функціональна залежність [2]:

$$M_v = k_n \frac{P_v}{n_{dv}}, \quad (1)$$

де: n_{dv} – швидкість обертання вала двигуна;

k_n – коефіцієнт пропорційності.

Потужність на валі двигуна P_v можна визначити через споживану установкою ЕВН по-